

雙月刊

中華民國九十五年十月號

102

- 美國用過核子燃料的乾式貯存
- 用過核子燃料的特性與管理
- 從美國經驗─看電廠內安全的中期貯存
- 美國自長眠中覺醒
- 布希參訪賓州核電廠推銷核能
- 美國重視核能的新構想
- 美國欲加入再處理俱樂部
- 大陸核電發展概況

102 核能簡訊

民國九十五年十月十日出刊

核能簡訊雙月刊 CONTENTS OCT



出版單位／中華民國核能學會
財團法人核能資訊中心
地　　址／新竹市光復路二段一〇一號研發大樓208室
電　　話／(03) 5711808
傳　　真／(03) 5725461
網　　址／http://www.nicenter.org.tw
E-mail／nic@nicenter.twmail.net
發 行 人／朱鐵吉
編輯委員／鄭安弘、蔡明隆、蔡顯修、蕭金益、翁寶山、潘　欽、洪益夫、開執中、鍾　堅、顏上惠、萬永亮、劉仁賢、黃文盛
主　　編／朱鐵吉
顧　　問／喻冀平
文　　編／鍾玉娟、翁明琪、陳婉玉
美　　編／孫秀琴
編 印 者／信誠廣告事業有限公司
地　　址／台北市興安街100號3樓之5

■ 行政院新聞局出版事業登記證．局版臺誌字第 851 號

編者的話

美國堪稱是全球核能發電的龍頭大哥，雖然自從1970年代開始，未再有新的核能電廠興建計畫，其他核能大國，如法國、日本等國並未隨之停下腳步，持續擴展核能發電的規模與領域。但是美國的領袖地位卻未動搖，動見觀瞻，仍具有指標性的意義。

由於1977年卡特總統宣布停止用過核子燃料再處理以及鈽循環技術的發展，長期以來用過核子燃料的管理、處置與相關設施，美國可說是極具經驗。因此本期（102）以美國的用過核子燃料中期貯存做為專題報導，自用過核子燃料的特性、貯存方式到貯存桶設計，一一加以說明，使讀者明瞭用過核子燃料的中期貯存是經過縝密設計與規劃，無輻射外洩的安全處置。

儘管卡特總統的禁令言猶在耳，迫於能源短缺與國際競爭的趨勢，美國有如睡獅猛醒，已慎重考慮重新進行用過核子燃料再處理的構想。目前法國、日本、俄羅斯是這方面的先驅，美國期望藉由「全球合作夥伴」的合作方式進行再處理的相關作業。此舉不僅可解決逐漸爆滿的用過核子燃料貯存空間的問題，亦可大量減少放射性廢棄物的數量；同時，回收可再利用的鈾與鈽，提高核子燃料的利用價值，一舉數得，是值得美國政府重新發展相關技術的重大誘因。

當初之所以禁止用過核子燃料再處理的最重要因素，是避免恐怖份子藉此獲得核子武器可用的鈽。然而，目前發展出的再處理新技術，不僅可分離出可使用的鈽，亦將使核武性能大為減弱，有效防止核武擴散，可以安心使用且無後顧之憂。



國內新聞 News

核安演習5、6日在恆春鎮核三廠周邊5公里防護計畫區內舉行，今年首次在南灣里社區舉行居家掩蔽演練，在南灣國小周邊地區的餐廳、遊客、學生都加入演習管制行列，透過演習提升屏東縣核災事故處理能力。

縣長曹啓鴻指出，核能發電在現在這個時代，有困境也有優點，放射性廢棄物的衰退期太長，很難找到貯存場地，但核能發電不會產生二氧化碳，免遭能源汙染，又是優點。核三廠既然已經在屏東，就必須對放射性廢棄物及災變應有正確認識及觀念。

（2006.09.05.中國時報）

95年核安演習昨天在核三廠內舉行，測試若發生核子事故時，核三廠、中央災害應變中心和台電公司的應變處置能力，昨天進行廠區演練，情況逼真。

昨天演習提早至6時30分開始，原能會在控制室下達機組情況，考驗運轉值班員危機處理能力；下午則是現場搶救作業、傷患後送和環境偵測取樣分析演練。

當核能電廠發生異常事故時，會進行斷電，反應爐控制棒會在2點4秒內，全部自動緊急插入爐心，停止連鎖反應，當機組自動急停失效，則改以手動急停。反應爐外橢圓形圍阻體(耐壓包封容器)，厚度1米2，有不鏽鋼襯體，每平方英吋可承受60磅壓力，能大大減少放射性物質外洩。

（2006.09.06.中國時報）

低放射性廢棄物最終處置場將落在何地？據透露，原則上將由台東、屏東、澎湖3個縣公民進行「意願」公投，但由於贊成過半的機率不高，台電公司不排除重新啓動「境外場址」計畫。

據了解，目前台電尚未對外公開的4個場址分別是：台東縣大武鄉、達仁鄉；屏東縣牡丹鄉；澎湖縣望安鄉。一旦正式被選為最終場址，總數50億元回饋金中，所在鄉鎮至少可獲20億元回饋金，鄰近鄉鎮可獲15億元回饋金，所在縣可獲10億元回饋金。

依據選址條例規定，是否接受成為最終處置場，必須通過所在縣的公民投票，而且要逾半數公民人數前往投票，並逾半數公民贊成。台電評估認為「高難度」。

（2006.09.03.聯合晚報）

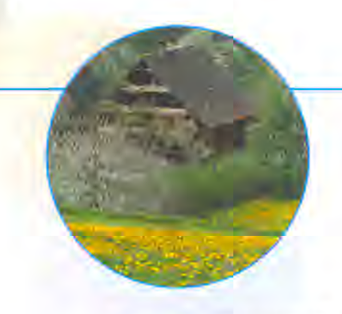
屏東縣牡丹鄉是台電低放射性廢棄物最終處置場4個選擇地點之一，2年內要舉行公投決定是否同意設置，屏東縣長曹啓鴻昨天表示尊重公民自己決定生活方式，不能由個人意見來決定。

台電核能發電廠所產生的低放射性廢棄物最終處置場，必須在民國102年前興建完成，所以97年10月以前就必須公投決定選址，屏東縣牡丹鄉也是其中一個可能的選擇地點，在總數50億元回饋金的誘因下，同意與反對聲浪將會旗鼓相當。

屏東縣長曹啓鴻指出，公投法已經通過，按照法律，不能由局部的鄉鎮來公投決定，必須以縣市為單位，全縣公民來決定低放射性廢棄物最終處置場是否在當地設立，他並沒有個人特別意見。核三廠在屏東縣境內既成事實，核三廠本身也暫時貯存不少放射性廢棄物，務實討論最終處置場的場址，是很重要的。

低放射性廢棄物最終處置場的巨額回饋金確實讓牡丹鄉很心動，牡丹鄉長林傑西認為，在安全無虞狀況下，同意讓低放射性廢棄物最終處置場進駐。

林傑西說，場址是在旭海村觀音鼻山，地處



偏遠，尚無完善交通道路，只有產業小徑，離牡丹村居住地還有5公里遠，若台電能確保安全及給予回饋金，他樂觀其成。站在好的角度想，可利用回饋金建設鄉里，但就是怕會有汙染。

旭海村長潘安生說，台電舉辦說明會應讓外地年輕人回來參與，目前村內400人，有一半都外移謀生，居住人口只剩200人，且是老人居多，老人那會知道放射性廢棄物的問題。他說，目前有過半數居民同意台電在觀音鼻山探勘，但堅持回饋金要專款專用在旭海村。

林傑西表示，台電所屬意的屏東縣牡丹鄉、澎湖縣望安鄉、台東縣大武和達仁鄉4個場址中，牡丹鄉觀音鼻山是面積最大，但交通運輸條件最差的，且地屬岩石地形，開發上有困難度。

目前牡丹鄉財政主要收入是1億多原民局補助金，電廠930萬、牡丹水庫350萬和核後端341萬等補償金，若台電最後選址確定牡丹鄉，對於牡丹鄉建設經費確實助益良多。

（2006.09.07.中國時報）

國外新聞 News

美國電力公司計畫興建大型的新反應器機組

美國電力供應商NRG 能源公司日前宣布其未來10年的新反應器計畫，該公司將在全美各地建造基載容量達800萬瓩電的發電機組。此計畫最引人注意的部分是位於南德州的核能電廠，2部廠內耗資52億美元、發電容量為135.8 萬瓩電的進步型沸水式反應器，預計於2014-15年投入營運。NRG新計畫的主要目的，在於降低對天然氣的依賴，並且迅速減少基載電廠20-25%的碳濃度。這是美國境內新建核能電廠所有計畫中設備選擇中最為保守的，反映出使用的奇異-日立機組事實上運轉情況良好，其中4部機組已在日本運轉達10年之久，且均已通過美國的完整測試認證。「投資將受長期的合約和保值措施的支持」，還有股友們的支持，在美國的狀況這將是創新的。其餘的基載容量大多是燃煤火力發電。NRG公司計畫於2007年下半年申請建廠-營運執照。　NRG 21/6/06, Nucleonics Week 29/6/06.

法國通過放射性廢棄物法案

繼國民大會迅速核准大部分與參議院相同的法案版本後，「核物料與廢棄物永續經營計畫法」將提昇為法律層次，有效期限達15年之久。此法對支持將不再利用的放射性廢棄物作深層地質處置。 Platts 15/6/06

瑞典社區競相爭取設立貯存場

瑞典兩個自治市－歐斯卡桑（Oskarshamn）（擁有3部核子反應器以及用過核子燃料的中期貯存設施）與奧斯薩瑪（Osthammar）[現有福斯馬克(Forsmark)電廠3部核子反應器]稍早投票決定做為高放射性廢棄物深地層處置的候選場址。在研擬8個自治市的可行性後，上述2個城市由於其岩床特性可能適合作為貯存場，故雀屏中選，而瑞典核子燃料與廢棄物管理公司(SKB)也在兩地進行場址地質測試作業。最近在此兩市的獨立民意調查結果（每區調查人數900人）顯示，歐斯卡桑與奧斯薩瑪各有73%與79%的居民支持在自己的社區建造廢棄物貯存場。

瑞典核燃料與廢棄物管理公司計畫今年後期先申請在歐斯卡桑建造封裝(encapsulation)工廠的執照，而後再於2008年申請建造最終貯存場。Platts 31/5/06, SKB 15/6/06.

日本敦促加速中子快滋生反應器研究

日本執政的自民黨催促政府加速快滋生反應器的發展，並稱此為「國家基礎科技」。該黨建議增加預算，加強從研發拓展到認證、應用之間的協調以及國際合作。日本在第四代反應器倡議，尤其是鈉冷卻快滋生反應器方面，已居領導地位。其所擁有280百萬瓩電的文殊原型快滋生反應器仍維持停機狀態。自民黨政策研究會發布的能源策略報告強調，在所有能源計畫中，核能應用急速進展相當必要。Atoms in Japan 23/5/06.

中國大陸新反應器建造計畫

靠近遼寧省大連的紅沿河核能電廠，主體工程預計於2007年9月灌漿。這是第11個5年計畫建設電廠的首項工程。兩部中國大陸自製的108萬瓩電機組，投資金額為28.8億美元，預計於2012年完工投入商轉。主要投資者是中國廣東核電集團與中國電力投資公司。

中國廣東核電集團、中國電力投資公司及廣西投資集團，另簽署了廣西省自治區白龍核能電廠第一階段發電量200萬瓩的合約。三方將投資31億美元於發電量達600萬瓩的電廠首兩部機組，並預計在2010年之前開始動工。Power in Asia 6/7/06, Dow Jones 25/7/06.

加拿大撥款用於廢棄物處置

加拿大政府宣布計畫在5年內提撥5.2億加幣，用於清理核能發電、醫用放射性同位素研究發展及1950年代早期軍事活動所遺留下來的放射性廢棄物。計畫內容包括清理加拿大原子能公司污染土地、放射性廢棄物以及政府負責的老舊建設的除役。所有核能電廠的放射性廢棄物與除役的責任仍舊歸屬於電廠，並未包含在計畫內。Natural Resources Canada 2/6/06, AECL 2/6/06.

澳洲核能經濟報告

澳洲核能科技組織(ANSTO)受委託製作的研究報告提出「澳洲引進核能發電」前景的一些經濟數據資料。報告顯示，將建造的世界第5座西屋AP1000型反應器發電成本極具競爭力，每度電成本約為4分澳元（包含廢棄物與除役費用）。與相同容量的發電廠比較，如果考慮到後續的穩定成本，核能較燃煤或燃氣發電廠便宜，但如果以剛開始的成本來看，則核能發電較昂貴。如果化石燃料電廠加入徵收碳釋出物稅額，則核能發電成本將相對變低。報告中也包括由政府補貼的財務模式。Summary report, ANSTO web site, May 06.

中國大陸與俄羅斯加入進步型反應器計畫

在「第四代國際論壇（Generation IV International Forum, GIF）」議程中，11個會員（美國、阿根廷、巴西、加拿大、法國、日本、韓國、南非、瑞士、英國以及由歐盟成員國組成的歐洲原子能共同體）一致同意中國大陸與俄羅斯加入該組織。第四代國際論壇的任務為發展第四代反應器技術，以作為2020年之後應用。在6種列入決選名單的反應器設計裡，俄羅斯比其他國家更具鉛冷卻快滋生反應器及鈉冷卻快滋生反應器領域的經驗。而中國大陸則是6種決選設計中，高溫氣冷式反應器的領導者。今年稍晚第四代國際論壇將確認中俄兩國的正式會員資格，為大規模的國際合作開路。Platts 13/7/06, Nucleonics Week 13/7/06.



美國用過核子燃料的乾式貯存

■ 翁雅慧 譯

背景

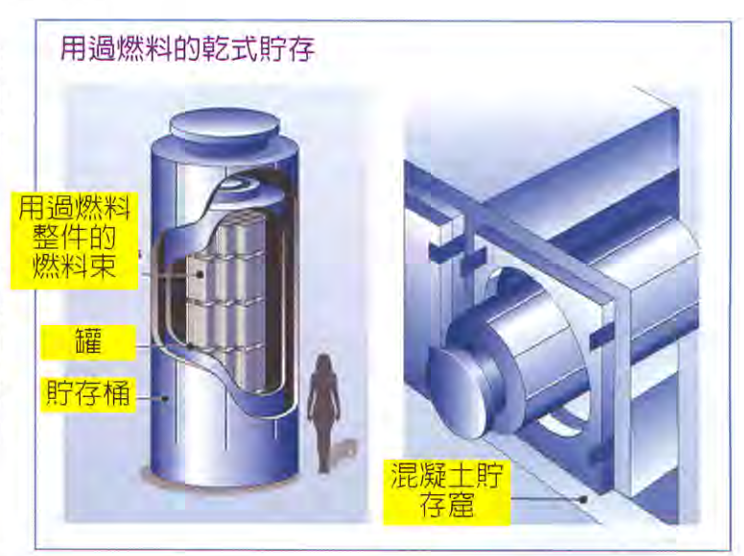
多年以來，美國核能電廠將用過核子燃料（即耗乏燃料）暫時貯存於廠內貯存池。運轉中的反應器中，須定期將約1/3的燃料卸除，再以新燃料更新。當初核能電廠的設計者預期耗乏燃料會經過再處理，可以將有用的部分再循環，而其餘部分才以廢棄物處置。因此，在設計用過核子燃料池時，並未預期在電廠運轉的壽期內須貯存所有的用過核子燃料。然而，商用燃料再處理從未在美國成功的發展。

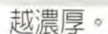
美國國會授權能源部負責發展用過核子燃料及其他高放射性廢棄物永久處置，2002年國會與總統指定內華達州雅卡山(Yucca Mountain)為永久處置設施場址。能源部建造此設施並負責其運作，而核能管制委員會(NRC)則負責其執照的核發。核管會為獨立的管制機關，並非隸屬能源部。其主要任務是在核子物質的應用領域，保護民眾健康與安全、實施一般防禦與保安，以及防止對環境的衝擊。

全國各個反應器產生的用過核子燃料，現今仍繼續貯存在電廠內特殊設計的燃料池中，直到永久處置場的貯存庫完成建造及核照手續。這種電廠的現場中期貯存，也是由核管會負責審查發照核准。

1970年代後期與1980年代初期，隨著許多用過核子燃料逐漸充滿貯存池時，對其他替代貯存方式的需求也日益增加，設施經營者開始尋求增加用過核子燃料貯存場能力的方式。目前法規允許在核管會審核下，更新燃料格架（將燃料棒緊靠，置於用過核子燃料池中）以及鞏固燃料棒，以增加池中貯存用過核子燃料的數量。惟上述兩種方法均受限於燃料池的大小。

增加貯存能力的另一種選擇，是使用「獨立用過核子燃料貯存設施」(independent spent fuel storage installation, ISFSI)。此設施可設置於反應器現場或是其他地方。用過核子燃料可以貯存於濕式或乾式的獨立用過核子燃料貯存設施中。過去10年來，設施經營者對可以提供用過核子燃料額外貯存能力的廠內乾式貯存桶興趣越來





越濃厚。

核准的獨立用過核子燃料貯存設施執照可能有兩種模式：「場址別的執照」符合核管會申請執照標準的要求，授權在電廠或其他地方貯存設施的運作，執照中明定使用貯存系統的種類；或者，核能電廠也可在「一般執照」下，使用經過核管會核准的獨立用過核子燃料貯存設施乾式貯存桶。選擇一般執照可使電廠避免重複某些在電廠申請運轉執照時已進行的評估（例如環境影

已發照/運轉中的用過核子燃料貯存設施

WA OR ID MT ND MN WI MI NY VT NH ME MA RI CT NJ DE MD PA OH IN IL IA SD WY NV CA UT CO NE KS MO KY WV VA NC TN AR OK NM AZ TX LA MS AL GA SC FL HI AK

▲ 場址別的執照
● 一般執照

AZ (亞利桑納州)
● Palo Verde

AR (阿肯色州)
● Arkansas Nuclear

CA (加州)
▲ Diablo Canyon
▲ Rancho Seco
● San Onofre

CO (科羅拉多州)
▲ Fort St. Vrain

CT (康乃狄克州)
● Haddam Neck

GA (喬治亞州)
● Hatch

ID (愛達荷州)
▲ DOE: TMI-2 Fuel Debris
▲ DOE: Foster Wheeler

IL (伊利諾州)
▲ GE Morris
● Dresden

IA (愛荷華州)
● Duane Arnold

ME (緬因州)
● Maine Yankee

MD (馬里蘭州)
▲ Calvert Cliffs

MA (麻州)
● Yankee Rowe

MI (密西根州)
● Big Rock Point
● Palisades

MN (明尼蘇達州)
▲ Prairie Island

NJ (紐澤西州)
● Oyster Creek

NY (紐約州)
● James A. FitzPatrick

NC (北卡羅來納州)
● McGuire

OH (俄亥俄州)
● Davis-Besse

OR (奧勒岡州)
▲ Trojan

PA (賓州)
● Susquehanna
● Peach Bottom

SC (南卡羅來納州)
●▲ Oconee
▲ H.B. Robinson

TN (田納西州)
● Sequoyah

VA (維吉尼亞州)
▲ Surry
▲ North Anna

WA (華盛頓州)
● Columbia Generating Station

WI (威斯康辛州)
● Point Beach

資料日期2004年12月
資料來源：美國核能管制委員會



響或地震的再探討）。

1982年美國國會通過放射性廢棄物政策法，立法授權核管會制定規章，可在最大可行程度上省略特定現場評估的中期乾式貯存方法。核管會在1990年修改規章，授權核能電廠經營者在一般執照範疇下，於反應器廠房內，以經核管會核准的乾式貯存桶貯存用過核子燃料，而無需對用過核子燃料貯存於特定位址，再申請一份個別的執照。

討論

核管會審查並核准用過核子燃料的乾式貯存系統的設計。核管會審查引用的法規，是經由公開過程發展而來，為確定提出申請的貯存系統的使用，是否能為保護民眾健康與環境安全，提供良好的基礎。

核管會定期監督乾式貯存桶的設計、製作及使用，以確認設施經營者與供應商符合輻射安全及安全性的要求，並根據申請時與品質保證的承諾進行相關作業。

一般認為，以貯存桶存放乾式用過核子燃料的方式安全且穩定。在過去的20年中，並沒有輻射逸出而對民眾造成影響、沒有放射性污染、也沒有已知或懷疑試圖破壞乾式用過核子燃料貯存桶或獨立用過核子燃料貯存設施的案例。

在經核准的通用執照下可使用的貯存桶設計，列於核管會聯邦法規第10編第72部分的214項(10CFR72.214)，以及本文末的表中。貯存桶一般是由內含用過核子燃料的金屬密封圓柱桶，外部包覆一層金屬或混凝土。有些設計中，貯存桶是採平放方式；而有些設計，貯存桶則垂直置於混凝土襯墊上。

對於申請核准的貯存桶，核管會需進行技術審查，以保障國內任何持照的核能電廠均能安全使用，此與一般執照的要求一致。「相關訊息可參考www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage」

乾式貯存系統使用的貯存桶設計，即使在洪水、龍捲風、飛彈、極端溫度及其他不尋常的情況下，亦能保持完好無損。核管會要求用過核子燃料需存放於用過核子燃料池冷卻數年後，始可移轉至乾式貯存桶。通常，由一個貯存桶內24個燃料組件產生的最大熱度，比一個典型的家庭暖氣設備1小時發出的還少。當燃料進一步冷卻，產生的熱度將隨時間而減少。

美國目前用過核子燃料貯存在以下地點的乾式獨立用過核子燃料貯存設施中：25座電廠、1座已除役電廠(Fort St. Vrain)、6座除役中的電廠(Rancho Seco、Trojan、Maine Yankee、Haddam Neck、Yankee Rowe、Big Rock Point)，以及位於愛達荷州靠近愛達荷瀑布的工程與環境國家實驗室中2座中期貯存設施。在伊利諾州的奇異公司莫里斯營運站(General Electric-Morris Operation)，有另一獨立用過核子燃料貯存設施，具有以濕式貯存用過核子燃料的執照。以上使用的乾式貯存桶亦列於文末的表中。

美國核管會最近發給福斯惠勒環保公司(Foster Wheeler Environmental Corp)執照，在愛達荷州的工程與環境國家實驗室經營反應器外獨立用過核子燃料貯存設施，此設施將貯存能源部的用過核子燃料。此外，私人燃料貯存公司(PFS)，申請於猶他州骷髏谷高夏特印地安保留區建立民營獨立用過核子燃料貯存設施。

（NRC Backgrounder, Dec. 2004）

（本文譯者任職於台電公司核發處保健物理課）

目前經美國核管會核准使用中的用過核子燃料乾式貯存設計

型號 (貯存設計)	供應商	核准日期 (+ 指一般執照)	使用場所 (* 指場址別的執照)
CASTOR V/21 & X133 (直立式金屬桶)	General Nuclear Systems, Inc.	7/2/1986 8/17/1990+	Surry* (維吉尼亞州)
燃料溶液 (直立式金屬/混凝土桶)	BFNL Fuel Solutions	2/15/2001+	Big Rock Point (密西根州)
HI-STAR 100 (直立式金屬桶)	Holtec International	10/4/1999+	Hatch (喬治亞州) Dresden (伊利諾州)
HI-STORM 100 (直立式金屬/混凝土桶)	Holtec International	3/31/1999 5/31/2000+	Trojan* (奧勒岡州) Hatch (喬治亞州) Dresden (伊利諾州) Columbia (華盛頓州) FitzPatrick (紐約州) Arkansas Nuclear One (阿肯色州)
NAC-I28 (直立式金屬桶)	NAC International	2/1/1990	Surry* (維吉尼亞州)
NAC-UMS (直立式金屬/混凝土桶)	NAC International	11/20/2000+	Maine Yankee (緬因州) Palo Verde (亞利桑納州)
NAC-MPC (直立式金屬/混凝土桶)	NAC International	4/10/2000+	Yankee Rowe (麻州) Haddam Neck (康乃狄克州)
Advanced NUHOMS-24 (平放式混凝土組件)	Transnuclear, Inc.	02/05/2003+	San Onofre (加州)
NUHOMS (平放式混凝土組件)	Transnuclear, Inc.	8/13/1986 1/29/1990 11/25/1992 6/30/2000 1/18/1995+	H.B. Robinson* (南卡州) Oconee* (南卡州) Calvert Cliffs* (馬里蘭州) Rancho Seco* (加州) Davis-Besse (俄亥俄州) Susquehanna (賓州) Duane Arnold (愛荷華州) Oyster Creek (紐澤西州) Palisades (密西根州) Point Beach (威斯康辛州)
TN-32 (直立式金屬桶)	Transnuclear, Inc.	7/2/1986 6/30/1998 4/19/2000+	Surry* (維吉尼亞州) North Anna* (維吉尼亞州) McGuire (北卡州) Peach Bottom (賓州)
TN-40 (直立式金屬桶)	Transnuclear, Inc.	10/19/1993	Prairie Island* (明尼蘇達州)
TN-68 (直立式金屬桶)	Transnuclear, Inc.	5/28/2000+	McGuire (北卡州) Peach Bottom (賓州)
VSC-24 (直立式金屬/混凝土桶)	BNFL Fuel Solutions Corp.	5/7/1993	Palisades (密西根州) Point Beach (威斯康辛州) Arkansas Nuclear One (阿肯色州)
NAC S/T	NAC International	8/17/1990	目前不用
NAC-C28 S/T	NAC International	8/17/1990	目前不用



用過核子燃料的特性與管理

翁雅慧 譯

用過核子燃料：以金屬管裝的陶瓷小丸

用過核子燃料不論外觀或觸感，均與全新的無異。與人類小指頭大小相當的陶瓷燃料小丸，因太弱（燃耗）而無法有效地提供核子反應器動力。分裂頻率低，也就是無法產生連鎖核反應，但仍具有放射性。燃料棒－內裝燃料丸的金屬管－加強防護輻射。燃料棒組合成束，成為燃料組件，置於反應器中。

用過核子燃料不會爆炸，也不燃燒

核燃料即使是新的時候，也無法爆炸。從地底開採的鈾礦其分裂率小於1%，必須濃縮到4%才可應用於核反應器中。而作為武器，則必須濃縮至20%-90%。此外，在核反應器中使用時，核燃料並不會燃燒。實際上，核燃料是不易燃的。

美國用過核子燃料再循環

在大多數美國核能電廠建造時，由於聯邦政府的鼓勵，工業界便計畫將用過核子燃料再循環。1979年由於對核武擴散可能性的關切日益升高，卡特總統完成了一個從福特總統開始的程序，禁止再處理商用的用過核子燃料。這個決定授權了一次全面、單獨使用燃料循環。1981年雷根總統重申再處理禁令，禁止核武擴散的關切仍持續引導美國的政策。雖然其他國家已進行燃料再循環，但目前在美國，再處理及再循環也不具成本效益。

顆核燃料丸包含很大的能量

一顆大小與人類小指尖相當的鈾燃料丸，提供的能量相當於1,780磅的煤炭，或是149加侖的石油，或是17,000立方英呎的天然氣。經由發生連鎖反應的鈾原子分裂，能量由核子反應器中釋放出來。在核能電廠，產生的熱能使水沸騰成為蒸氣，而趨動汽輪發電機發電。

高能量意味著用過核子燃料的體積小

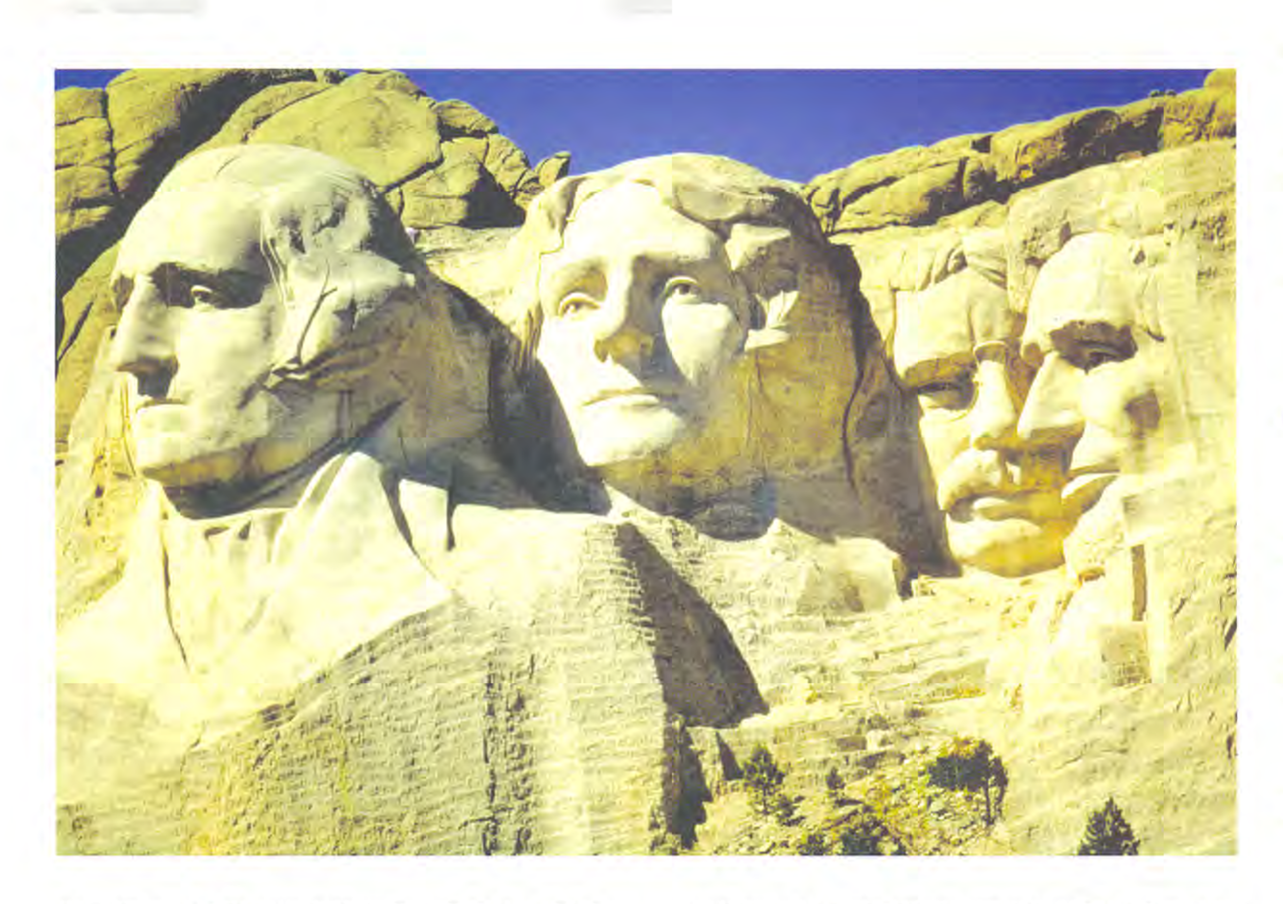
美國核能電廠每隔12-24個月便停止運轉，更新最老的燃料組件。全美所有的核能電廠每年總計產生約2,000公噸的用過核子燃料。以這個觀點來看，美國的核能工業運轉超過40年，共產生了約40,000公噸的用過核子燃料，如果燃料組件排列整齊，約可覆蓋一個足球場大小的區域，深度約5碼。

安全有效的廢棄物管理

從40多年前核能工業開始商業化至今，核能電廠在環境政策和實際作業上獨特地成功防止了對環境嚴重的有害衝擊。因此，核能工業是從工業革命以來，唯一實際上對其所有副產品材料建立起管理負責制度的工業。核能設施經由減少、消除或是管理廢棄物，防止或是降低發電釋出物對水、土地、居住區、物種、空氣的不利衝擊。在整個核燃料循環所產生的少量核能副產品，包裝完整，並安全地貯存。由於處理效率的改進，核能電廠產生的廢棄物平均量在過去20年已顯著減少。

相對少量的高放射性廢棄物

每座核能電廠實際上以用過核子燃料棒形式產生的高放射性廢棄物，平均總量每年少於20公



噸。鈾是一種密度很大的物質，質量大但體積小。40多年來，已發電上兆度的核能，大約產生了4萬公噸的用過核子燃料棒。與其他工業所產生的廢棄物相比，數量相對較少。

安全地貯存於電廠內

根據1954年美國原子能法核能商業應用的時代開始後，聯邦政府對用過核子物質的最終處置應保留控制權並對其負責，是國家既定的政策。這個政策在1982年的核能廢棄物政策法及1987年其修正案中再次重申。這些政策的實施已經延誤，用過核子燃料貯存於電廠內，在嚴格的管控要求下，並未對環境產生負面的衝擊。儘管美國聯邦政府計畫延遲，對於永久處置場的科學調查仍持續進行。有關科學和技術方面的問題已相當瞭解，美國並無理由不能發展用過核子燃料在運輸、貯存與處置所必須使用的基礎設施。

電廠壽命週期分析顯示核能對環境有益

美國為安置發電產生的廢棄物副產品與所有形式的釋出物，要求進行「壽命週期分析」。這種分析可提供某來源對環境－土地、空氣、水、野生動植物－衝擊的完整描述。由於核能成功地防止對環境的負面衝擊，特別是用過核子燃料的管理，壽命週期證明核能是「最環保」的發電形式之一。一個如同壽命週期分析的健全、科學的過程，如果一致引用，將會防止誤導人心的環保聲明；並且在市場趨向競爭時，亦將提升消費者對選擇核能的信心。



從美國經驗—看電廠內安全的中期貯存

翁雅慧 譯

核能電廠用過核子燃料的貯存空間

核能電廠設計至少可以貯存10年的用過核子燃料。依據1982年美國放射性廢棄物政策法，聯邦政府應在1998年開始將用過核子燃料從電廠暫存區移至集中的貯存設施，目前進度延遲，意味著核能電廠必須貯存比最初設計時更多的用過核子燃料。在2010年首座貯存場開放之前，78座電廠的用過核子燃料池將沒有空間可再貯存。

用過核子燃料池--廠內安全的貯存站

大多數的核能電廠，用過核子燃料置於充滿水的鋼筋混凝土所構成的地窖中。這些用過核子燃料池中的水，作為燃料組件中輻射的天然屏蔽。在燃料衰變至較不具放射性時，水也可使燃料保持低溫。這些貯存池內的水從未離開電廠內的混凝土建築物。

乾式貯存設施--廠外的安全貯存場

1986年起，包括數個已關閉的單位，有總計超過24座的美國核能電廠，經由加蓋地上建築物以及乾式貯存設施，來補足其貯存空間的不足。到了1999年中期，美國境內使用中的這種貯存庫大約有150個。2050年以前，83座核能電廠將已建造完成乾式貯存設施。1970年代中期起，其他各國也已經安全且成功地將用過核子燃料貯存於地面上。

乾式貯存容器的構造

容器由厚度18英吋以上的鋼或以鋼強化的混凝土，以及鉛構成，已證明可以有效地阻擋輻射。這些容器一旦裝入用過核子燃料組件後，將會水平排列於混凝土地窖內，或是直立於3英呎厚的混凝土襯墊上。這些容器設計以極端條件測試－地震、龍捲風、颶風、洪水以及遭到蓄意破壞時，仍能防止輻射外洩，可以自然冷卻並且通風良好。

核管會核准乾式貯存容器的設計並核發執照

每種容器的設計必須經美國核能管制委員會(NRC)核准。在核管會確認用過核子燃料能夠在電廠持照期間，安全存放於電廠廠址至少30年，要求定期監控乾式貯存容器，且每20年需要重新換照一次。

乾式貯存系統只是暫時的解決辦法

乾式貯存容器造價相當昂貴，一只容器的價格從貯存於地下室內的50萬美元，到置於外部混凝土襯墊的100萬美元以上都有。在用電戶已經貢獻數十億美元給美國聯邦政府的核子廢棄物基金後，公共事業委員會可能不允許電廠將這些額外貯存系統所需的成本，再轉嫁到用電戶身上。此外，州政府及地方政府官員相當關切電廠內的乾式貯存設施實際上將成為電廠本身的貯存場。某些州已經傾向限制這些貯存設施的發展或擴建，或是制定條件以交換核准這些設施，除非美國能源部能履行其提供用過核子燃料處理的法定義務。



美國自長眠中覺醒

核能和平利用再起步—今後展望

■ 詹慕如
謝牧謙 譯

由於人口增加、經濟急速發展等原因

國際間很早便預見會出現世界性的大量能源消耗，各國亦將確保能源安定對策，視為國家當務之急的重要戰略。最近石油價格飆升超過70美金，由此等影響看來，採取相關因應對策與否，將會對該國今後的經濟發展產生極大的差異。在此時勢當中，我們十分樂見美國對於核能發電，開始採取前所未有的積極且務實的政策。從地球溫室化問題的角度來看，二氧化碳氣體排放量占世界1/4的美國，此種積極正面的行動雖起步較





遲，仍十分令人期待。

2006年年初，美國布希總統在1月31日的國情咨文中發表了「先進能源倡議（Advanced Energy Initiative）」，2月6日能源部博德曼部長又發表了新的核能倡議，提出以地球規模規劃核能合作的「全球核能夥伴（Global Nuclear Energy Partnership, GNEP）」構想。而布希總統又在2月18日的廣播演說中重申核能的重要性。布希總統在這篇演說中表示，確保能源政策的其中一項為「擴大安全又潔淨的核能利用計畫」，以核能不會產生溫室氣體，又可以低成本大量發電，強調美國政府建設核電廠的意願，以及國際共同合作的重要性。

美國所提案的GNEP中，編列2億5千萬美元預算，其目標為與具有先進核能和平利用計畫的法、日、俄羅斯等諸國合作，開發新反應器以及核子燃料循環的技術，也就是藉由核子燃料的再循環產生能源，減少廢棄物，並避免其轉用於核子武器的機會。

目前美國共有103座機組的核能電廠在運轉，有20%的發電量仰賴核能。發電量現在仍居世界之首。然而自1970年代之後，未再有新核能電廠的建設計畫，這段空窗期導致美國核能相關技術發展的停滯。倘若美國今後計畫擴大核能發電，無可否認的，在技術層面上勢必仰賴國際的協助。在這樣的背景下，日本的東芝公司併購了西屋（Westinghouse）公司，可見現今已演變到必須在國際企業網中相互合作，否則無法生存的時代了。

美國屬核武國家，同時也積極推動核能發電，但在1977年卡特總統在位時，無限期凍結了商用再處理及鈽循環技術的發展，在1978年，美國的核武非擴散條約（Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, NPT）生效，優先採取該項政策。自此，美國國內停止鈽的和平用途。雖然美國採取上述方針，但由於日本為一缺乏資源的國家，基於充分利用被視為



準國產能源的鈾資源觀點，仍持續推動鈽的和平用途。

現在，美國重新肯定以往的核能和平利用理念，為了確保本國能源的穩定供應，可利用的有效技術，需積極運用，方為上策。

美國的GNEP等最近的核能和平利用政策中，對國際合作的期待，重新喚起世界各國體認到「核能和平用途乃為謀求人類生存福祉」的核能和平用途原有的面目。不過，要推動國際性核能合作，加入NPT為不可或缺的條件。

美國現在正計畫和非NPT加盟國--印度共同發展核能。印度在NPT的名單中雖並非核武國家，但實際上該國卻握有核子武器。美國欲積極和印度就核能和平用途進行合作，將成為NPT體制外的合作。另一方面，還有例如伊朗這樣的國家，雖為NPT加盟國，但其鈾濃縮技術的開發，卻讓國際間對其產生是否從事核武開發的疑慮。這種現象會導致部分國家無視NPT對放棄開發核武的約束，以及核能和平利用的權利。也就是說，如果一個國家進行核武開發而沒有加入NPT，若與其進行核能國際合作，那麼NPT就失去了存在意義。

美國為NPT的締約國。雖然NPT對擁有核武國家和非核武國家有差別待遇，但若不遵守這項條約將無法阻止核武擴散，核能的和平用途合作也將窒礙難行。要在NPT體制中承認印度、巴基斯坦為擁有核武國家，實在荒誕。不如促進兩國加入NPT，並且放棄核武。

美國重新認識核能和平用途的重要性，對防止地球暖化對策，以及整個地球規模的能源穩定供應上，皆具重要意義。美國終於自沉睡中覺醒，為了人類福祉將核能運用於和平用途而積極策定方針，藉此機會，要具體實踐目標並加速推動腳步，建構放射性廢棄物處置的具體戰略，方為捷徑。

(Plutonium No. 53 Spring 2006 p.1)



布希參訪賓州核電廠推銷核能

編輯室



美國布希總統於2006年5月24日參觀賓州利默里克電廠，內有2座核能發電機組，屬艾塞隆公司所有。在對電廠員工的演說中，布希不忘繼續推銷核電，他表示，核電「是我們建立產量豐富、價格合理及乾淨安全能源的重要途徑」。

「為了經濟及國家穩定，」並且「維持美國在世界經濟的領導地位」，美國「一定要大步向前，興建核能電廠」，布希表示。「一旦電廠完工並開始營運，核能電廠的營運成本，就會比其他形式的電廠明顯低很多，也就是說一般人都可以負擔的電價」。

布希強調，核電相當安全，因為「科技、工程、電廠設計都有長足的進步」，且「核能電廠的員工和管理者對他們的工作相當熟練。」

布希指出，核電是被過度規範的工業，投資新電廠「風險相當高，因為要蓋電廠有重重規定，但一般人可不知道。你開始設計電廠、花錢計畫營運和其他所有東西。當廠房都弄好了，然後，人家突然要你關門就關門。要冒險實在太難。光是打官司就可以讓你花一大筆錢，然後花掉的錢一點成效也沒有。」

在2005年通過的能源政策法，其相關條文乃是設計來降低建廠風險，布希如是說。貸款保證「給了投資人信心，讓他們知道美國政府是真的要蓋核能電廠。」他進一步指出，生產租稅優惠「將會鼓勵投資使用最新技術的核能發電」，而聯邦風險保險法則「有助於保護（未來首批6座新核能電廠的）建造人，讓他們不受訴訟、官僚行政體系、或是其他不受控制的延宕阻礙。」

布希說，在放射性廢棄物議題上「我們一定要做點事」。他說，他「堅信雅卡山是個堅固、技術無虞，可以安置廢棄物的貯存場。我也希望美國國會也可以體認到這點。」

「全球核能夥伴」欲發展的先進用過核子燃料再處理及回收技術，「將會降低有害核子燃料的量，並且減少我們必須貯存的用過核子燃料數量」，布希表示。全球核能夥伴「是結合其他（國家）力量，減化最高達90%的貯存用過核子燃料貯存量的良好策略」。

Steven Dolley, Washington Nucleonics Week. New York: June 1, 2006. Vol.47, Iss. 22



美國重視核能的新構想

「重新採取再處理路線，以新技術防止核武擴散」

■ 葉有財

美國「全球核能夥伴」構想

美國能源部於2006年2月6日發布新的研究計畫，以便應付商用核能電廠「用過核子燃料」的再處理（註1）。

布希總統於2006年2月18日的演說，以及能源部副部長在2006年2月16日的記者會，分別聲明美國希望與日、法、蘇等民用核能先進國家進行合夥關係。

新計畫的名稱為「全球核能夥伴」（GNEP，Global Nuclear Energy Partnership），曾被無限期延期的快中子滋生反應器（Fast Breader Reactor,FBR）（註2）計畫亦將重新開始。新計畫的目的是為(1).脫離海外化石燃料的依賴。(2).開發無核武擴散憂慮的再處理技術。(3).實現對環境無害的理想等。

再處理技術的新方法是將放射性廢棄物中的鈽，與其他核分裂產物以混合物的狀態自用過的核子燃料中分離取出後再利用。

因為混合狀態的鈽，不但使核武器的性能大為減弱，並具有強力的輻射，使得恐怖分子難於操作使用。

用過核子燃料的再處理，不僅解決美國國內核能電廠產生的高放射性廢棄物的貯存，同時對於海外的用過核子燃料也準備接收處理。此舉不但可大量減少放射性廢棄物，且能回收可利用的核子燃料物質（鈾、鈽），提高核能利用價值。

另外快中子滋生反應器的開發應用，不僅可使一般輕水反應器（註3）不能用的大量鈾238資源，轉換成可用的鈽之外，尚可將核分裂產物燒掉。現在只有日本、法國、俄羅斯在實行再處理以及與FBR為主的「核子燃料循環」計畫。

日本對GNEP構想的看法

一、日本對於美國提出擴大發展世界的核能發電，並確保核武不擴散的構想，表示肯定。

二、本構想為了提高能源的利用效率，以及減少放射性廢棄物，表明採用「核子燃料再循環」的方法，是美國引人注目的新策略。

三、日本對此構想正在考慮及檢討如何提出貢獻。

感想

根據筆者對日本核能政策的瞭解，自始即採用「核子燃料再循環」的政策，幾十年來從未改變過，並對相關技術，陸續有相當程度的發展。略述如下：

一、用過核子燃料的再處理

日本經過多年的實驗研究，最先發展的「東海再處理工廠」於1977年9月，開始試驗運轉。商用的再處理工廠（可年處理鈾800噸），在青森的六個所村建造，並於最近完成試運轉，準備正式啓用。



二、混合氧化物燃料加工

為了鈽的有效利用及核子擴散的保防，日本在青森縣六個所村，建造混合氧化物燃料（Mixed Oxide Fuel,Mox）加工廠，預定2009年4月運轉。1977年，美國卡特總統宣布，凍結所有再處理場時，日本的東海再處理工廠，乃以不單獨分離「鈽」為由而獲准。其策略是以鈾鈽的混合氧化物狀態，取出加工成合乎輕水反應器（BWR，PWR）使用的核子燃料。〔註：BWR：沸水反應器，PWR：壓水反應器〕

三、快滋生反應器燃料循環的發展

日本自1967年就開發的快滋生反應器的實驗反應器（常陽Joyo），於1983年3月達到熱功率10萬瓩的運轉。

至於FBR原型反應器文殊（Monju），電功率為28萬瓩，也在1967年同時設計研究。該爐使用MOX燃料，目的為建立核能電廠實用性與可靠性的技術，於1985年10月開工，而於1994年4月5日達到臨界。不幸於次年12月8日晚間，發生冷卻系統中液態鈉洩漏事件，現正在改造之中，預定2008年開始再運轉。希望與GNEP構想配合，建立國際標準化的FBR燃料循環。

2006年4月26-28日，日本原子力產業協會（JAIF），在橫濱舉行第39屆年度大會，主題為：「日本核能產業根基的強化與再活化」。筆者代表中華核能學會出席，會中GNEP的話題激起一股核能復興的熱潮，瀰漫著「核能春天即將來臨」的氣息，讓與會者都感到振奮，而反觀我國搖擺不定的核能政策備感辛酸。

（註1）再處理是什麼？

核子燃料在核能電廠內使用3-4年後，能發生核分裂的鈾235含量會減少，必須更換燃料。但此燃料的壽命尚未終止。因為在此用過燃料中殘留的鈾235約有1%，另有新生的鈽239約含0.6%。

從用過燃料中回收的鈽和鈾，即可再利用。這種回收的過程即為「再處理」。

（註2）快滋生反應器

全名為Fast Breader Reactor，乃利用快中子照射鈽239，引起核分裂產生能量及較多的中子，使不會引起分裂燃燒的鈾238吸收，轉換為可分裂的鈽239。亦即邊發電邊產生更多的核子燃料，故稱為滋生反應器。

對有限的鈾資源來說，可大為提高其利用價值。故在核子燃料再循環體系中FBR成為極重要的一環。

（註3）輕水式反應器

世界各國所建造的一般商用反應器，有英國開發的石墨緩和氣體冷卻的高溫反應器，加拿大開發的重水緩和反應器，及美國開發的輕水緩和冷卻型反應器（輕水反應器）等，均利用熱（慢）中子照射鈾235，引起核分裂產生能量。

但是在天然鈾中，鈾235的含量僅有0.7%，其餘99.3%的鈾238，熱中子是不起分裂的。故現有的熱中子反應器對鈾資源是無法有效的利用。

（本文作者為中華民國核能學會秘書長）



美國欲加入再處理俱樂部

■ 洪國鈞

美國的全球核能夥伴（Global Nuclear Energy Parnership, GNEP）將展開一個總價2億5千萬美金的核子燃料再處理計畫。這個2億5千萬美元的計畫將在2007會計年度投入1億7千萬美元的預算，這是布希總統在最近的國情咨文講話中，針對先進能源倡議預期在2009年以前投入總數達10億美元計畫的一部分。全球核能夥伴（GNEP）計畫旨在開啓國際級的核能工業，並藉由策略聯盟方式與其他國家共同進行用過核子燃料處置的相關作業，同時本計畫也包含了核子燃料的相關交易。

本計畫亦著眼於美國新一代核能電廠的發展，搭配新式用過核子燃料的再處理技術，以提供上述電廠的燃料需求。在這裡將要考量到兩項關鍵技術，第一項為鈾元素的加強萃取（UREX Plus），結合鈽元素及其他同位素與一定比例的鈾元素，使其喪失作為或可用為武器級材料的可能。第二項選擇為乾式再處理，或稱為熱處理（pyro-processing）。美國能源部宣稱本技術將可以將用過核子燃料中的鈾元素，自超鈾元素的稀酸水溶液中完全分離，該方法可以將用過核子燃料中所有的超鈾元素取出重新利用，且可避免產生液體廢棄物，這個方法因採用化學分離，故對舊式的鈽鈾萃取技術而言更能達成抑制核武擴散的效果。

這個關鍵在於美國能



源部副部長克萊．塞爾（Clay Sell）宣布，將發展可以使用此類同位素燃料的快滋生反應器，美國希望在未來10年內驗證該技術，GNEP的目標恰與塞爾所提相符。聯盟也放眼反應器技術，並向其他國家如法國、日本、俄羅斯與英國首次表示，將用過核子燃料送回再處理前，可向美國租用燃料的方案。塞爾表示：GNEP的核心方向預期將會為美國核能發電業的支出方式產生重大影響，同時該方向也為世界提供兩個有關核能發電議題有效的處理方案，即如何處理放射性廢棄物與如何發展抑制核武擴散的技術。我們認為GNEP將可以有效整合這兩個重大議題，並加強世界核能發電的發展，達成政策上的目標。

能源部長沙謬爾．博德曼（Samuel Bodman）表示：GNEP為全球急切的能源需求帶來無使用限制能源的重要保證，建立燃料服務計畫將可獲得當前國家對能源的需求，並在核武擴散的最小風險下經濟地使用核能。





該計畫同時發展並建造小尺寸核子反應器，並以符合開發中國家的需求做設計。塞爾與其他的能源部官員，以及國際原子能總署署長穆罕默德．艾巴拉迪（Mohamed El Baradei）在一些國際場合中不只一次的指出：我們（美國）希望發展核能技術並與世界其他的核能經濟體成為策略聯盟。

一些針對本計畫的反對者宣稱，本計畫的目的是（美國）想要取得核能技術的控制權與所有權的手段，然而本計畫的重要部分是要提供燃料與反應器給開發中國家，這使得反對者在立場上是自我矛盾的。其他則認為因為再處理是極度昂貴且具有潛在散布放射性污染的風險，該論點使得美國在過去的政策上曾一度放棄再處理的方向，但如今美國的政策將重新發展再處理技術。

（本文作者為核四廠工程師）



大陸核電發展概況

編輯室

中國大陸核能發電經過20多年的發展，已獲得顯著成績。核電設計、建設和營運水準明顯提高，核電工業基礎已初步形成。經過起步和小批量兩個階段的建設，目前形成了浙江秦山、廣東大亞灣和江蘇田灣3個核電基地。截至2004年9月，中國大陸共有9座核電機組投入運轉，裝置容量達到700萬瓩。

2003年底，中國大陸核電裝置容量和核能發電總量分別占中國大陸電力總裝置容量和發電量的1.7%和2.3%。在浙江、廣東兩省，2003年核發電量均超過這兩省各自總發電量的13%，核電成為當地電力供應的重要支柱。2005年在建機組全部投產後，中國大陸核電有11座機組、960萬瓩，占全國發電裝置總容量的2%左右。



秦山1期電廠已經安全運轉13年，在2003年結束的第7個燃料循環中創造了連續安全運轉443天的核能電廠最好成績。2003年世界核電營運者協會（WANO）9項性能指標中，秦山核能電廠有6項指標達到中等水準，其中3項指標達到世界先進水準。秦山2期國產化核能電廠全面建成投產，實現了中國大陸自主建設商用核能電廠的重大突破。投資1330美元/瓩，國產化率55%，通過初步運轉考驗，表現出優良的性能、經濟效益與社會效益。秦山3期重水反應器提前建成投產，實現了核電工程管理與國際接軌，創造了國際同類型核能電廠的多項紀錄。

廣東大亞灣電廠商轉10年來，保持安全穩定運轉，部分運轉指標達到國際先進水準，獲得良好的經濟效益。廣東嶺澳電廠也已經全面建成投產並取得良好的運轉績效。江蘇田灣電廠1號機組則正處在調適過程之中。此外，中國大陸出口巴基斯坦的恰希瑪核能電廠於2000年6月併網發電，2003年負荷因數達到85%。

2004年7月21日，中國大陸國務院批准建設廣東嶺澳電廠2期工程與浙江三門電廠1期工程。國務院要求各有關單位要努力確保核電自主化開發建設目標的實現，努力形成自主設計、設備製造和建設中國品牌核能電廠的能力。

總之，中國大陸在核電技術研發、設備製造、工程設計、工程建設、專案管理、營運管理等方面，已具備相當的基礎和實力。

一、核電設計

中國大陸核工業擁有一支專業、知識和年齡結構較為合理的核電研究設計隊伍，形成了設計管理和介面控制程式以及品質管制體系。掌握部份國外核電成熟的設計技術，能自主設計建設30萬瓩和60萬瓩壓水反應器核能電廠，已具備以本地為主、中外合作設計建造百萬瓩級壓水反應器的能力。中國核工業集團公司組織有關核電設計院，展開國產化百萬瓩級壓水反應器核電機組的設計工作，目前初步設計已經完成，進入初步設計審查階段。

二、核電技術研發

中國大陸核工業建立了專業齊全的研發體系，培養出一支水準較高的研發隊伍，已建成具有國際水準的大型核能技術試驗基地。各種試驗台架、研發設施齊全，具備了較強的自主開發能力和消化吸收國外先進技術的能力。基本上可以滿足自主設計的需要，為核電技術進步和後續發展提供後盾。在設計技術研究工作中，解決核能電廠工程設計許多技術上的困難，形成了初步的核電工程設計分析的骨幹程式系統。也形成一套進步型反應器設計方法和試驗驗證方法，提高中國大陸進步型壓水反應器設計開發的能力。目前正在進行自主開發第三代、第四代的核電關鍵技術。

三、核電工程建設管理

在「九五」期間開工建設的核電項目，無論是國產化專案，還是中外合作的專案，都已建立法人治理結構的規範，項目業主對核能電廠建設和營運全面負責。在工程項目管理中，實行招、投標制和工程監理制，通過招標選擇施工承包商和設備採購，有效降低成本，確保施工品質。在品質、進度、投資三大控制方面累積相當多實務的經驗。

四、核電設備製造

經過「八五」、「九五」期間的科技攻關和核電設備國產化的基礎設施建設，中國大陸的核設備設計、製造能力提高不少。除了主泵、數位

化儀控系統等少部分設備以外，大陸已經具備設計和製造百萬瓩級壓水反應器核電機組大部分設備的能力。哈爾濱、上海、四川東方三大發電設備製造基地和第一、第二重型機械製造集團已經成為加工製造大型核電設備的骨幹企業。

五、核子燃料保障

在核電建設的帶動下，核子燃料循環實現了較大幅度的技術進步，初步形成了包括鈾礦地質探勘、鈾礦採冶、鈾轉化、鈾濃縮、元件製造以及耗乏燃料再處理、放射性廢棄物管理等環節較完整的核子燃料循環工業體系，在一些關鍵環節中實現生產能力的擴大和工藝技術的提升。

鈾地質探勘經過裝備的技術改造，探勘能力獲得加強，地浸砂岩型鈾礦的找礦工作不斷獲得突破；鈾礦冶形成以地浸、堆浸、原地爆破浸出為主的新型生產體系；鈾同位素分離實現了從擴散法向離心法的過渡；全部核能電廠燃料元件均實現國內生產，品質達到國際先進水準，並生產出合格的高燃耗燃料元件產品。

六、安全管理、事故應急與技術後援體系

中國大陸政府已建立與國際接軌的安全監督管理體系與核能安全法規，組成一支獨立的核能安全監管技術團隊。核能安全貫穿於核能電廠的設計、設備製造、建設、安裝、調試、運轉直到除役等各個環節。建立從電廠、地方政府到中央政府的核子事故應急體系，為保障核能電廠的安全和社會公共安全，積極展開工作。

同時，中國大陸核工業經過近50年實踐所建立的核能安全後援與技術支援體系，在核電機組的安全運轉、環境保護、放射性廢棄物處理等方面發揮了重大作用。

七、核能電廠廠址資源

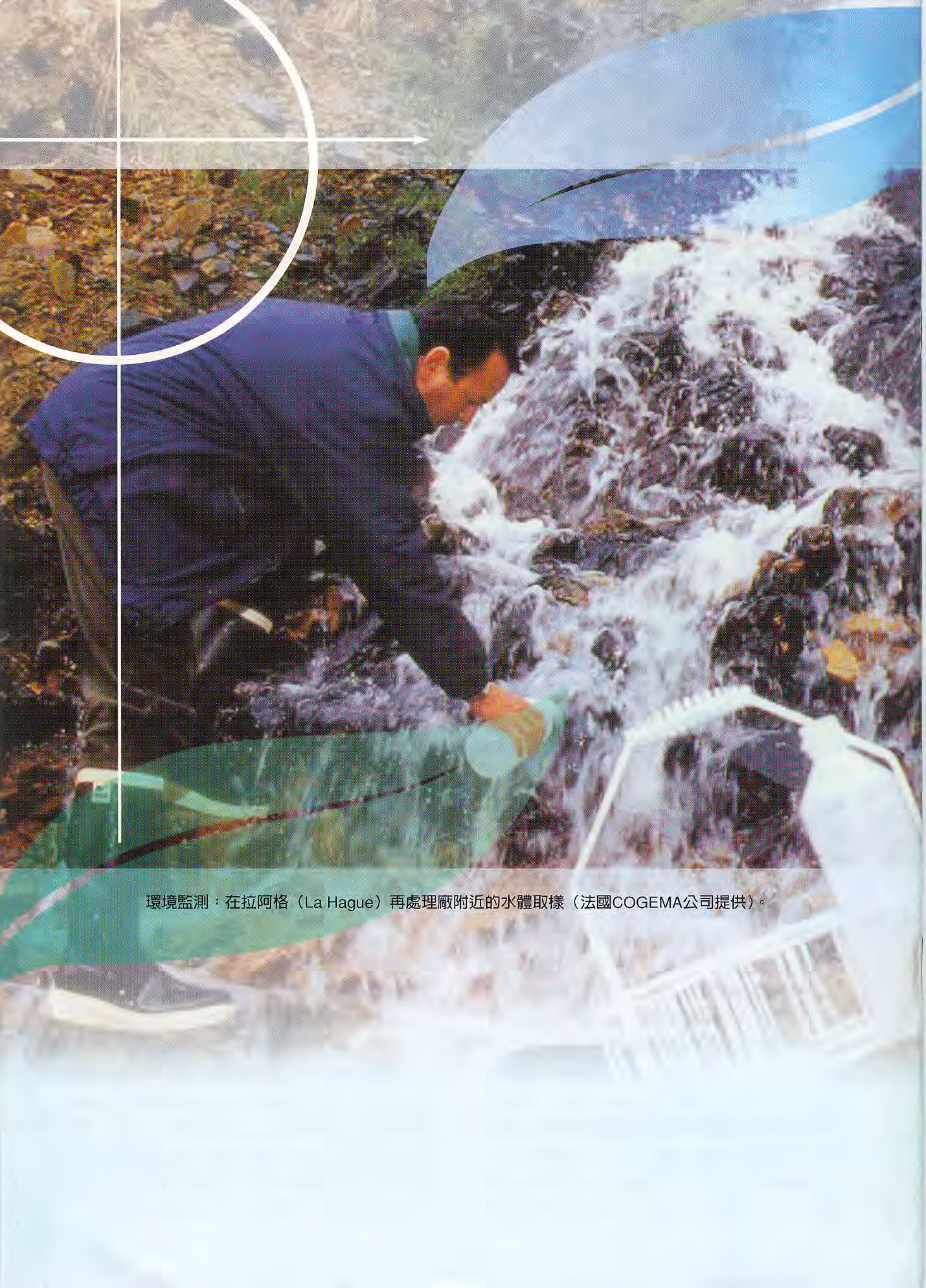
經過20多年的探勘和規劃，中國大陸已確定了相當容量的核電廠址。目前，已完成初步可行性研究的廠址絕大部分分布在沿海，可以滿足2020年前再建約30座百萬瓩核電機組的需要。秦山核電基地還可以再安排2台百萬瓩機組，江蘇田灣核電基地還可再安排6台百萬瓩機組，浙江三門廠址可安排6台百萬瓩機組，廣東陽江、福建惠安、山東海陽都具有安排6台百萬瓩機組的條件。

八、廣闊的市場空間

為滿足經濟的持續發展，據國家發改委和國家電網公司的規劃和要求，全國電力總裝置容量在2010年和2020年，需要達到6億瓩和近10億瓩。

2003年底，中國大陸全國電力機組3.85億瓩，其中燃煤機組占74%，水力機組占24%，核電機組只占1.6%，風力僅占0.14%。中國大陸煤炭存量雖然占世界第1位，但環境、生產和運輸能力卻嚴重制約了燃煤機組的過多發展。水力資源比較豐富，但開發程度已經很高，目前已建和興建中水力機組有1.3億瓩，預計到2020年只能達到2億瓩。風力、太陽能發電、潮汐發電等各類新能源，至今尚未解決規模化生產及經濟性的問題。大力發展核電，滿足電力需求、優化能源結構、保障能源安全，已成為政府和社會各界的共識。

2020年時，核電在全國發電裝置容量中的比例要達到4%，核能發電規模將達到4,000萬瓩，需要在2004－2015年期間新建設30座左右的百萬級核電機組。核電發展在中國的前景可說是一片光明。



環境監測：在拉阿格（La Hague）再處理廠附近的水體取樣（法國COGEMA公司提供）。